



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

DIMAN/COCUC-DF

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio**

Relatório Final

(2016-2017)

**Dinâmica de clorofila-a na Zona Econômica Exclusiva do Brasil e implicações para
conservação**

Victória Belúcio Almeida

Orientador (a): Rafael Almeida Magris

Brasília

Agosto de 2017

Resumo

Os ecossistemas pelágicos são importantes por abrigarem as comunidades fitoplanctônicas, responsáveis por quase a metade da fotossíntese da biosfera. Embora seja uma comunidade dinâmica, os padrões de abundância desta comunidade podem ser mensurados pela quantificação dos valores de clorofila-a por imagens de satélite. O objetivo do trabalho foi quantificar a dinâmica de clorofila-a ao longo da Zona Econômica Exclusiva brasileira, de modo a classificá-los em regimes de variabilidade e quantificar a ocorrência dos mesmos em Unidades de Conservação (UCs). Foram obtidos dados mensais de clorofila-a do satélite Aqua MODIS (2003-2015) e extraídos estatísticas da série temporal (médias e predictabilidades) para a classificação dos regimes. Tal procedimento resultou no delineamento espacial de nove regimes. O regime 1, considerado o de maior prioridade para conservação, ocupou 4,45% da área de estudo e distribuiu-se em trechos da plataforma continental da costa nordeste, na região próxima a ressurgência de Cabo Frio, na plataforma continental da região dos Abrolhos, além de trechos da área oceânica da região sudeste-sul. A sobreposição com as UCs mostrou que as mesmas estão protegendo em grande extensão apenas um dos regimes de variabilidade de clorofila-a, mas oferecendo pouca representatividade na proteção de regimes com maior prioridade de conservação, mesmo que os mesmos tenham extensão limitada. Regimes de variabilidade identificados como prioridade à conservação devem ser foco para a criação de futuras UCs pois os mesmos estão associados à presença de espécies topo de cadeia (incluindo espécies pelágicas de importância pesqueira), além de contribuírem significativamente com serviços ecossistêmicos de regulação do fluxo de carbono.

Palavras-chave: clorofila-a, ambientes pelágicos, unidades de conservação

Abstract

Pelagic marine ecosystems are important because phytoplankton assemblages play a major role in regulating biosphere's photosynthesis at a large extent. Although being highly dynamic, patterns of abundance of phytoplankton can be measured by quantifying chlorophyll-a values through satellite images. The objective of this study was to quantify spatiotemporal patterns of chlorophyll-a within the Brazilian Exclusive Economic Zone, classify them into regimes of variability, and evaluate their presence within Conservation Units (CUs – or marine protected areas). We obtained monthly data on chlorophyll-a from the Aqua MODIS satellite (2003-2015) to extract statistical parameters (monthly means and predictabilities) that were used to delineate the regimes. Such procedure resulted in the spatial delineation of nine regimes. Regime 1, considered the highest priority for conservation, extended to about 4.45% of the study area and was found along stretches of the northeastern continental shelf, around the Cabo Frio upwelling region, within the continental shelf of the Abrolhos region, and portions of the oceanic area adjacent to the southeastern region. The overlap between regimes and CUs showed that only one regime was largely covered by CUs, and other regimes, having the highest priority for conservation, were largely unprotected. The regimes identified here as priorities for conservation should be focus for marine protected areas designation because they are associated with occurrence of top predators (including species with importance for fisheries), and contribute significantly to regulation of oceanic carbon flux.

Key-words: chlorophyll-a, pelagic environment, conservation unities

Lista de Figuras

- Figura 1 - Área de estudo (delimitada em branco) representa a ZEE (Zona Econômica Exclusiva) brasileira bem como a junção da porção principal da mesma à ZEE no entorno das Ilhas de Trindade e Martim Vaz..... 9
- Figura 2 - Ranking de prioridades para a conservação entre os regimes de acordo com os valores de médias mensais e predictabilidades. Os regimes de maior prioridade estão localizados no topo direito do gráfico enquanto os de menor prioridade estão na parte inferior esquerda do mesmo. Refira-se a Tabela 1 para a definição dos regimes 13
- Figura 3 - Variação sazonal nos valores de médias (mg/m^3) e predictabilidades (adimensional) (2003-2015). São apresentadas as médias do mês de janeiro (A) e julho (B), bem como as predictabilidade de janeiro (C) e julho (D) 15
- Figura 4 - Os nove regimes de clorofila-a encontrados na área de estudo. Os regimes foram definidos como base no conjunto de pixels com variabilidades similares de clorofila-a, caracterizadas pelas concentrações médias e valores de predictabilidade 17
- Figura 5 - Representação da percentagem de cobertura (em termos de área) de cada regime na área de estudo 18
- Figura 6 - Priorização para conservação utilizando dados dos nove regimes de variabilidade de clorofila-a. O gradiente vindo de vermelho escuro até o branco mostra os regimes de maior e menor prioridade de conservação, respectivamente. Os nove regimes foram convertidos em seis níveis de prioridade conforme Figura 2. 19
- Figura 7 - Representação da percentagem de cobertura (em termos de área) de cada nível de prioridade para conservação em termos de área. O primeiro nível de prioridade representa o regime 1; o segundo, os regimes 2 e 4; o terceiro, os regimes 3 e 7; o quarto, o regime 5; o quinto, os regimes 6 e 8; e o último nível de prioridade, o regime 9 20
- Figura 8 - Representação das percentagens de cobertura dos regimes (em termos de área) pelas Unidades de Conservação (UCs). (A) UCs de proteção integral e (B) UCs de uso sustentável 21

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Regimes de variabilidade de clorofila-a e siglas correspondentes.....	12
--	----

Sumário

1) Introdução.....	6
2) Objetivo.....	8
3) Material e métodos.....	8
4) Resultados.....	13
5) Discussão e conclusão.....	21
6) Recomendações para o manejo.....	23
7) Agradecimentos.....	24
8) Referências bibliográficas.....	24

Introdução

Os ambientes marinhos desempenham um papel fundamental na prestação de serviços ecossistêmicos (U.S. Commission on Ocean Policy, 2004; Hatje et al., 2013). Entre eles, destacam-se a produção de alimentos, de produtos medicinais, de ornamentos, recreação, turismo, regulação de serviços que afetam o clima e a qualidade da água, entre outros (Worm et al., 2006; Hattam et al., 2014; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). No entanto, a continuidade da prestação destes serviços encontra-se ameaçada. A população humana está crescendo em ritmo mais acelerado e migrando para as regiões costeiras, o que aumenta a pressão sobre ambientes marinhos e costeiros. Além da perda de habitat, tal processo também acarreta um processo de degradação ambiental, causado pela perda da qualidade ambiental, um processo mediado por diversas formas de influência antrópica (Halpern et al. 2015; Hatje et al. 2013).

Entre os ecossistemas marinhos sujeitos à impactos antrópicos, o ambiente pelágico (aquele associado à coluna d'água) encontra-se em situação crítica pois os mesmos carecem de avaliações específicas visando sua proteção (Game et al 2009). As espécies restritas ao ambiente pelágico (e.g. elasmobrânquios e outros integrantes da megafauna) tem sofrido um declínio populacional acentuado em diversas partes do mundo (Verity et al., 2002; Cury et al., 2008; Österblom et al., 2007). O declínio observado na abundância destas espécies tem sido geralmente atribuído a diversos tipos de pressões, entre elas a pesca descontrolada (Stramma et al., 2012), poluição (Lusher et al., 2012) e eutrofização (Ingrid et al., 1996). Desta forma, é importante que se entenda os mecanismos associados com tais declínios e ações mitigadoras para recuperação dos mesmos.

Os ecossistemas pelágicos também abrigam as comunidades biológicas do fitoplâncton responsáveis por quase a metade da fotossíntese do planeta (Field et al., 1998). As alterações nos valores de produtividade primária (medida pela taxa de fotossíntese de uma área em um intervalo de tempo) podem ilustrar os diversos aspectos de sua importância nos ambientes marinhos. Watters *et al.* (2003), por exemplo, observou que mudanças anuais na produção primária, ocasionadas pelo El Niño, afetam com maior frequência baixos níveis tróficos em comparação a níveis tróficos mais elevados, mostrando a conexão entre níveis mais altos da teia alimentar e produtores primários (fitoplâncton). A alta produtividade primária associada com as comunidades fitoplanctônicas tem demonstrado afetar positivamente as pescarias (Brown et al., 2010) e beneficiar diversas espécies de aves e mamíferos devido ao incremento

na biomassa de peixes (Grantham et al., 2011; Grémillet et al., 2008). Há também estudos que mostraram que o aquecimento do oceano tem causado uma redução na produtividade e, como consequência, uma redução também no sequestro de carbono pelo oceano (Behrenfeld et al., 2006; Bopp et al., 2001; Steinacher et al., 2010).

Ferramentas utilizando imagens de satélite destacam-se como promissoras para avaliações da dinâmica espacial e temporal associados com as concentrações de clorofila-a (pigmento este que é responsável pela fotossíntese nos organismos do fitoplâncton). Isto porque o sensoriamento remoto pode ajudar na obtenção rápida e eficiente de informações e também aumentar a disponibilidade de informações à comunidade científica em geral e também aos gestores do governo (Magris et al., 2010). Em geral, o sensoriamento remoto pode ser aplicado para avaliar mudanças dos padrões de distribuição de biomassa de fitoplâncton (Ciotti et al., 2010), análises da variabilidade da temperatura da água do mar (Bernardello et al., 2016), coloração da água do mar (Blondeau-Patissier et al., 2014), entre outros. Através desta ferramenta, é possível se avaliar tanto variações sazonais como interanuais (Chatuverdi et al., 2003; Ciotti et al., 2010).

Embora os ambientes pelágicos sejam ainda pouco protegidos (Game et al., 2009), existe uma tendência de novas Áreas Marinhas Protegidas (AMPs ou Unidades de Conservação definidas pela legislação brasileira) serem estabelecidas especificamente para conservar estes ambientes. Um exemplo recente compreende a expansão do Pacific Remote Islands Marine National Monument no Pacífico central, local de extrema importância para espécies migratórias pelágicas (Expansion of the U.S. Pacific Remote Islands Marine National Monument: The Largest Ocean Legacy On Earth, 2014). No entanto, existem diversos desafios na criação e estabelecimento de AMPs no ambiente pelágico, entre eles biológicos, físicos, de *design* e de governança (Game et al. 2009). Desta forma, existe a necessidade de novas análises que utilizem informações sobre ambiente pelágico visando avaliar a proposição de novas áreas para proteção.

A falta de proteção e a baixa quantidade de AMPs no Brasil é preocupante. A proteção de áreas marinhas é insignificante, com menos de 1,9% da jurisdição marinha do Brasil dentro de AMPs e 0,14% dentro de áreas denominadas “proteção integral” (Magris et al., 2013). A falta de estudos visando criar as AMPs reflete as dificuldades de se planejar as ações de conservação, que, caso não aconteça de forma satisfatória, prejudica a operacionalização e a eficácia na implementação das mesmas (Beger et al. 2009).

Objetivos

O objetivo do trabalho descrito foi utilizar dados sobre a biomassa fitoplanctônica bem como sobre sua dinâmica para identificar áreas de possível interesse para conservação. Para tal, uma série temporal de dados de clorofila-a obtidos a partir de imagens de satélite foi analisada para delinear regimes de variabilidade e propor o uso dos mesmos em métodos de planejamento de ações para a conservação.

Material e métodos

O estudo foi dividido em quatro etapas: (A) coleta e preparação dos dados, (B) seleção de métricas associadas à variabilidade de clorofila-a, (C) definição de regimes de variabilidade e (D) análise espacial em relação à sobreposição com Unidades de Conservação (UCs). A área de estudo considerou toda a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira, com uma ampliação para incluir toda a cadeia de montes submarinos Vitória-Trindade, ligando desta forma a porção principal da ZEE à ZEE no entorno das Ilhas de Trindade e Martim Vaz, como mostra a Figura 1. Esta área serviu como uma “máscara” para extração espacial dos dados de clorofila e preparação dos dados e continha originalmente 192.673 pixels (resolução espacial de 4 km).

(A) Coleta e preparação dos dados

A coleta e preparação dos dados envolveu a aquisição e preparação das imagens de satélite Aqua MODIS usando o L3 standard OCI Algorithm (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) com resolução temporal mensal e espacial de 4 km. Para as análises, a série temporal foi composta de 156 imagens compreendendo o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2015 (primeiro e último anos completos no início deste estudo). As imagens foram sobrepostas à máscara da área de estudo, e um total de 2.444 pixels tiveram que ser eliminados inicialmente, pois não possuíam dados para nenhum dos 156 meses analisados.

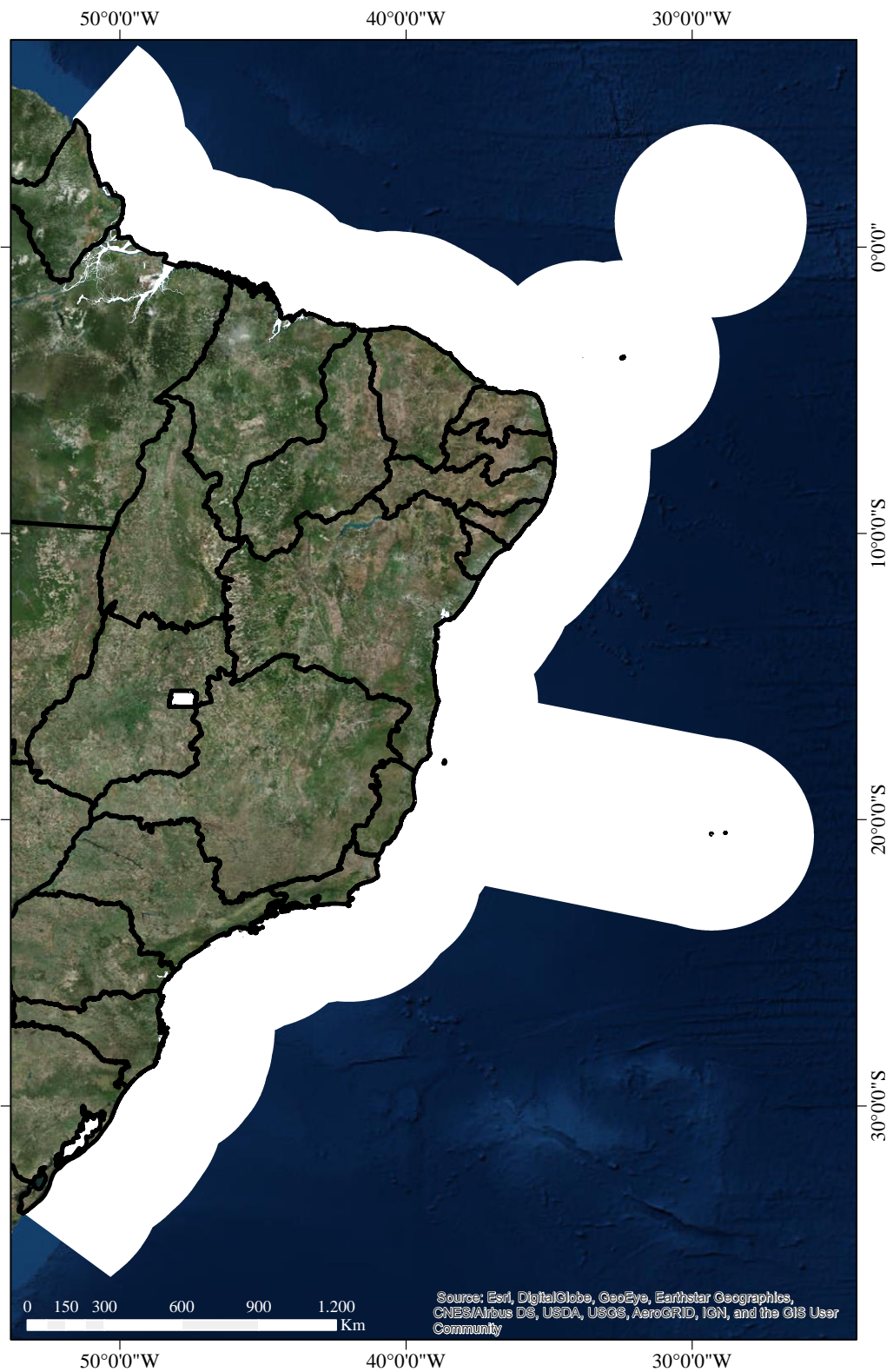


Figura 1. Área de estudo (delimitada em branco) representa a ZEE (Zona Econômica Exclusiva) brasileira bem como a junção da porção principal da mesma à ZEE no entorno das Ilhas de Trindade e Martim Vaz.

Ao fazer uma análise preliminar da série temporal, foi observado que uma parcela dos pixels continha dados faltantes ao longo da série temporal. Como forma de reduzir tais lacunas, foi realizado uma interpolação temporal para o preenchimento destes meses, com base na média entre o mês anterior e o mês subsequente, desde que nenhum dos dois valores fosse igual a zero (o que exclui o possível preenchimento de pixels com falta de dados para o mês de janeiro de 2003 e dezembro de 2015). Após este procedimento de interpolação, a ausência de dados reduziu de 10,01% para 7,83%. Adicionalmente, tiveram que ser excluídos da análise um total de 3.175 pixels que não possuíam dados por mais da metade da série temporal (ausência de dados maior do que 78 meses). Um total de 18.7054 pixels foi então utilizado nas etapas seguintes.

(B) Seleção de métricas associadas à variabilidade de clorofila-a

Inicialmente, cada pixel foi associado a valores de médias mensais considerando toda a série temporal e com o intuito de produzir doze valores que capturassem as concentrações médias de cada pixel bem como sua flutuação intra-anual.

Além das médias mensais, cada pixel foi também caracterizado por doze valores de predictabilidade, como sendo o resultado da subtração entre “um” e o coeficiente de variação normalizado (CV) dos valores de concentração mensais da série temporal. Essa estatística foi escolhida, conforme explicado em Welch et al. (2015), por duas razões: (i) a mesma remove a correlação inerente entre números e variações grandes padronizando os valores em relação à média; e (ii) pelo fato da raiz quadrada da variância tornar proporcionalmente grande a diferença entre números pequenos. Este último motivo é particularmente importante para este estudo visto que os valores de concentração de clorofila-a são comumente baixos em águas pelágicas tropicais, mas ainda assim pequenas diferenças podem ser importantes ecologicamente e representar diferentes processos oceanográficos.

Para auxiliar no cálculo da predictabilidade, os coeficientes de variação dos 12 meses foram normalizados para a escala 0-1, baseado nos menores e maiores valores, respectivamente, de qualquer pixel em qualquer dos 12 meses. Finalmente, os valores normalizados foram subtraídos de um, fazendo com que o valor mais alto e mais baixo de predictabilidade fossem, respectivamente, um e zero:

$$(1) CV_{(i)} = \frac{\sigma_{(i)}}{\mu_{(i)}}$$

$$(2) Predictabilidade_{(i)} = 1 - \left(\frac{CV_{(i)} - CV_{(mín)}}{CV_{(máx)} - CV_{(mín)}} \right)$$

onde $CV_{(i)}$ é o coeficiente de variação do pixel (i) para um dado mês calculado como a razão entre o desvio padrão $\sigma_{(i)}$ e a média $\mu_{(i)}$, e $CV_{(mín)}$ e $CV_{(máx)}$ são o menor e o maior valor de coeficiente de variação de todos os pixels em qualquer mês no ano, respectivamente. Além dos 5.619 pixels excluídos anteriormente por falta de dados, algumas médias mensais ainda possuíam valores iguais a zero. Então, para não inviabilizar os cálculos, 278 pixels que tinham média nula em qualquer mês tiveram também que ser excluídos.

(C) Definição dos regimes de variabilidade

Os regimes foram baseados em dois índices principais: valor somado das médias mensais; e valor somado das predictabilidades. Inicialmente foram encontrados os máximos e mínimos de cada valor de média mensal e predictabilidade mensal. Cada um desses valores foi então normalizado para um intervalo de 0-1 e somados entre si cumulativamente. Desta forma, cada um dos 186.776 pixels pôde ser caracterizado pelos vinte e quatro valores finais de médias e predictabilidades.

Para definição dos regimes, cada pixel foi finalmente classificado conforme a distribuição dos valores de cada índice em relação aos tercís em: superior (contendo valores maiores que o primeiro tercís), intermediário (contendo valores menores que o primeiro tercís, mas maiores que o segundo) e inferior (contendo valores menores que o segundo tercís). Combinando estes três níveis para cada um dos dois índices, cada pixel pode ser desta forma classificado em 9 regimes, com os seguintes códigos e definições contidas na Tabela 1: TMTP, TMMP, TMBP, MMTP, MMMP, MMBP, BMTP, BMMP e BMBP.

Os 9 regimes também foram ranqueados de acordo com sua prioridade para conservação, como mostra a Figura 2. Para essa classificação em nível de prioridades, levou-se em conta a combinação dos tercís para os dois índices: os pixels contendo os valores mais altos de ambos os índices foram considerados os de maior prioridade para conservação (regime 1); o segundo nível de priorização foi definido por aqueles pixels contendo os valores superiores de média ou predictabilidade mas valores intermediários para pelo menos um destes índices; o terceiro nível de priorização foi definido por aqueles pixels contendo os valores

superiores de média ou predictabilidade mas valores inferiores para pelo menos um destes índices; e assim por diante. O regime com nível de prioridade mais baixo correspondeu àquele contendo os valores inferiores para ambos os índices.

Tabela I. Regimes de variabilidade de clorofila-a e as siglas correspondentes.

Numeração do regime	Classificação do regime	Sigla do regime
Regime 1	Média e predictabilidade superiores	TMTP
Regime 2	Média superior e predictabilidade intermediária	TMMP
Regime 3	Média superior e predictabilidade inferior	TMBP
Regime 4	Média intermediária e predictabilidade superior	MMTP
Regime 5	Média e predictabilidade intermediárias	MMMP
Regime 6	Média intermediária e predictabilidade inferior	MMBP
Regime 7	Média inferior e predictabilidade superior	BMTP
Regime 8	Média inferior e predictabilidade intermediária	BMMP
Regime 9	Média e predictabilidade inferiores	BMBP

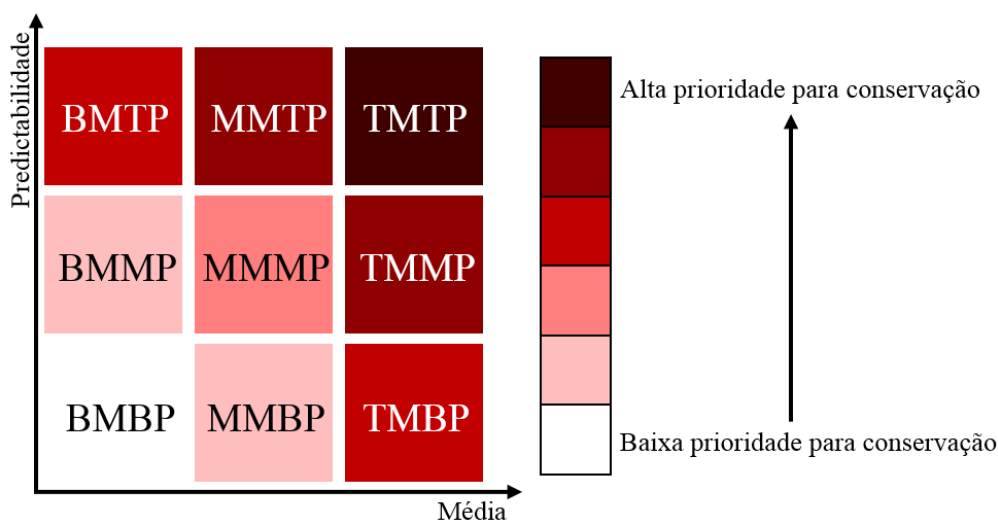


Figura 2. Ranking de prioridades para a conservação entre os regimes de acordo com os valores de médias mensais e predictabilidades. Os regimes de maior prioridade estão localizados no topo direito do gráfico enquanto os de menor prioridade estão na parte inferior esquerda do mesmo. Refira-se a Tabela 1 para a definição dos regimes.

(D) Análise espacial em relação a sobreposição com Unidades de Conservação

Para avaliar quais regimes estavam protegidos pelas UCs existentes, a distribuição de cada um dos regimes foi sobreposta com a área das UCs para o cálculo da interseção. Para esta análise, as UCs foram divididas em UCs de uso sustentável (US) e de proteção integral (PI). Todas as análises espaciais foram feitas utilizando ArcGIS 10.2.2.

Resultados

Os meses de janeiro e julho mostraram o maior contraste nos valores de clorofila-a na série temporal, sendo que janeiro esteve associado aos valores mínimos e julho aos valores máximos (Fig. 3A e B). O menor valor da média mensal de janeiro (3A) foi de 0,007 mg/m³ e o valor máximo foi de 19,898 mg/m³. Por sua vez, o mês de julho (3B) apresentou mínima de 0,053 mg/m³ e máxima de 33,877 mg/m³. Também foi possível observar que, mesmo com esta diferença nos valores máximos, as médias permaneceram predominantemente baixas em toda a área de estudo, com exceção das áreas próximas à foz do rio Amazonas (entre o litoral do AM e AP) e na região costeira próxima à foz da Lagoa dos Patos (RS).

Diferentemente dos valores de médias mensais, a predictabilidade não mostrou uma grande diferença entre valores: a variação de valores para o mês de janeiro (3C) foi de 0 à 0,998 enquanto que em julho (3C), a variação foi de 0,089 à 0,998. Na predictabilidade, foi observado

um padrão de distribuição espacial oposto ao encontrado para a clorofila-a: valores altos presentes em diversas partes da área de estudo, com um contraste de valores baixos nas regiões próximas à foz do rio Amazonas (3C e D), próximas ao estado de São Paulo e Rio de Janeiro (3C) e na região que vai desde São Paulo ao Rio Grande do Sul (3D).

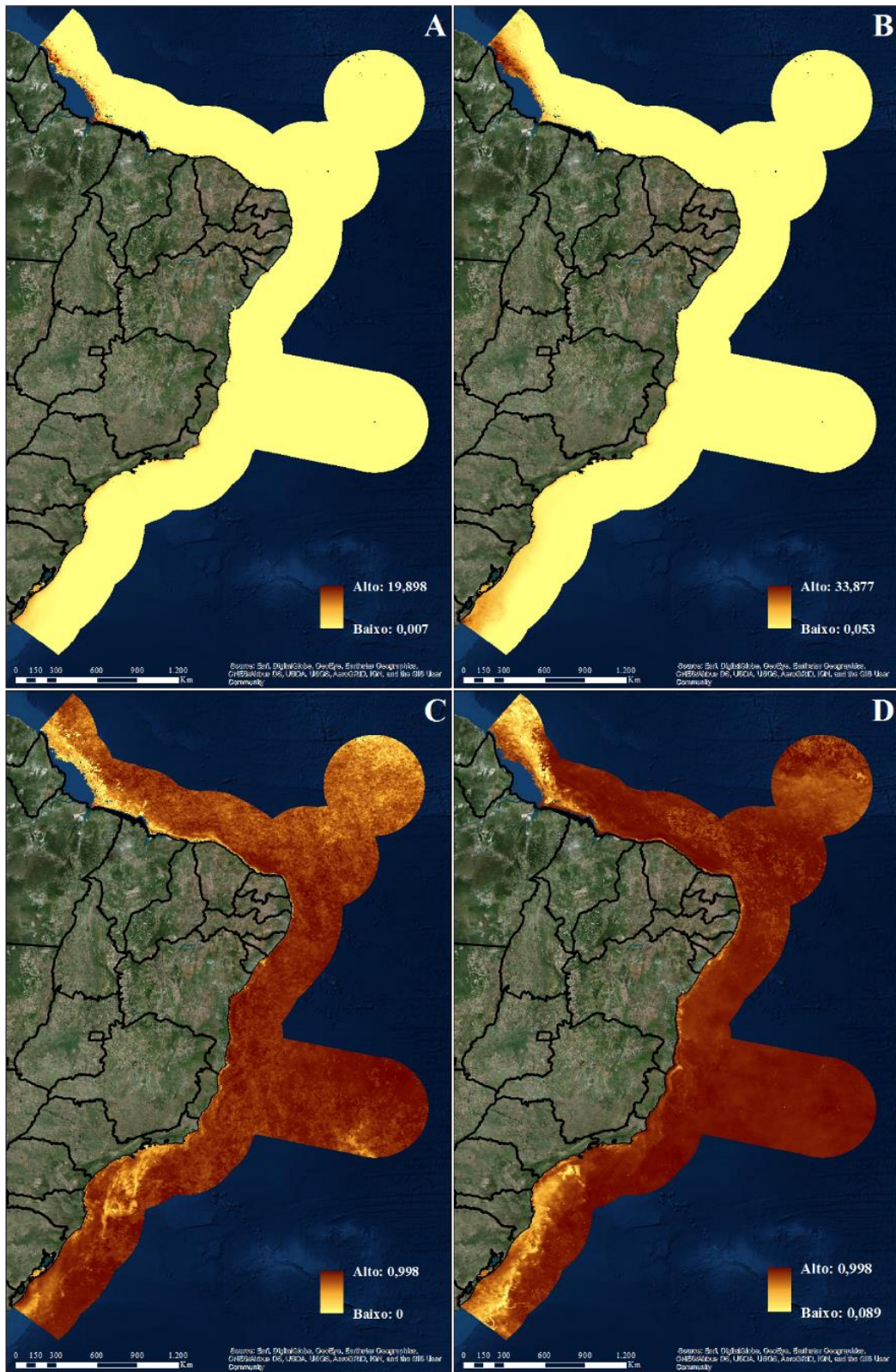


Figura 3. Variação sazonal nos valores de médias (mg/m^3) e predictabilidades (adimensional) (2003-2015). São apresentadas as médias do mês de janeiro (A) e julho (B), bem como as predictabilidade de janeiro (C) e julho (D).

Em relação a distribuição dos regimes, foi observado que o regime 1 ocupou apenas 4,45% de toda a extensão da área de estudo (Figuras 4 e 5). Tal regime distribuiu-se principalmente em trechos da plataforma continental da costa nordeste; na região próxima a ressurgência de Cabo Frio; na plataforma continental da região dos Abrolhos e além da área oceânica da região sudeste-sul, que sofre influência da ACAS (Águas Centrais do Atlântico Sul). Os dois regimes com maior ocorrência foram o regime 3, com 21,29% da área de estudo, e o regime 7, com 20,52%. O regime 3 está distribuído por toda a plataforma continental e ocorreu também sobre a cadeia de montes submarinos onde afloram o arquipélago de São Pedro e São Paulo. Já o regime 7 foi registrado apenas em regiões oceânicas, além da plataforma continental, desde a região próxima ao Rio Grande do Norte até a região próxima ao Espírito Santo. O regime com menor ocorrência espacial na área de estudo foi o regime 9, ocupando apenas 0,59% da área de estudo, com distribuição além da área oceânica da região próxima ao estado do Ceará.

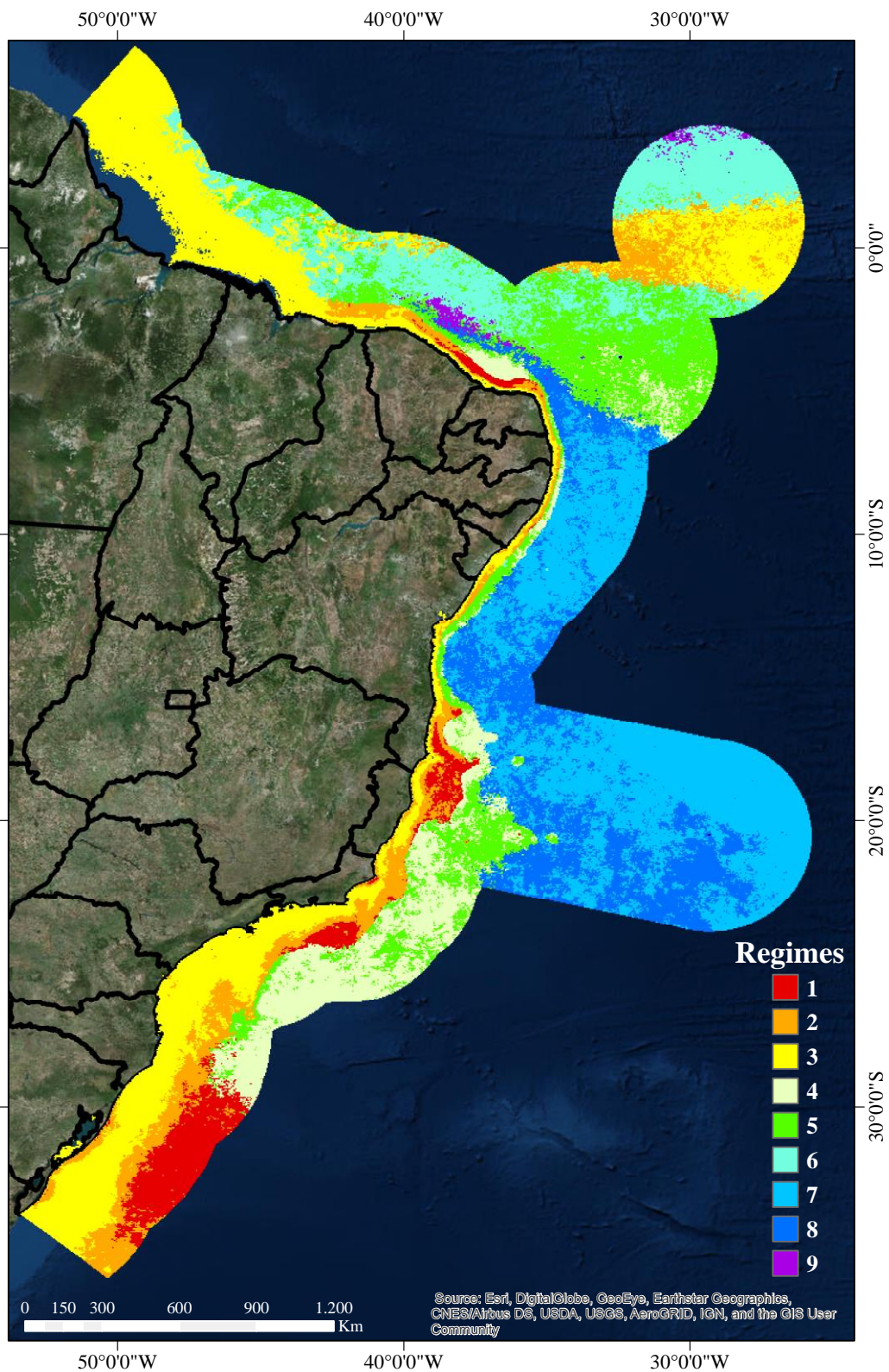


Figura 4. Os nove regimes de clorofila-a encontrados na área de estudo. Os regimes foram definidos como base no conjunto de pixels com variabilidades similares de clorofila-a, caracterizadas pelas concentrações médias e valores de predictabilidade.

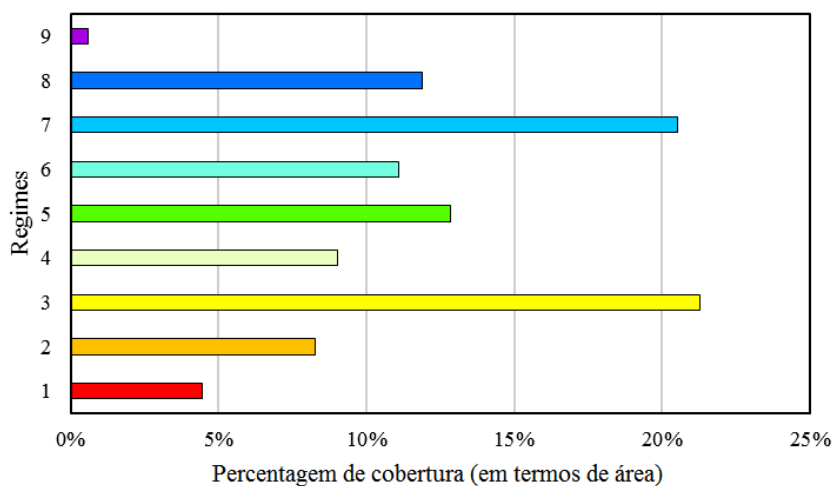


Figura 5. Representação da porcentagem de cobertura (em termos de área) de cada regime na área de estudo.

Os regimes também puderam ser classificados quanto ao nível de prioridade para a conservação (Figura 6). Foi possível observar que os regimes com maior nível de prioridade (composto pelos regimes 1, 2 e 4) ocupam uma área muito limitada (21,72%). O mais extenso é o terceiro nível de prioridade (composto pelos regimes 3 e 7), ocupando 41,81% (Figura 7). O segundo nível mais extenso é o quinto nível de prioridade (regimes 6 e 8), que abrange 22,99% da área de estudo.

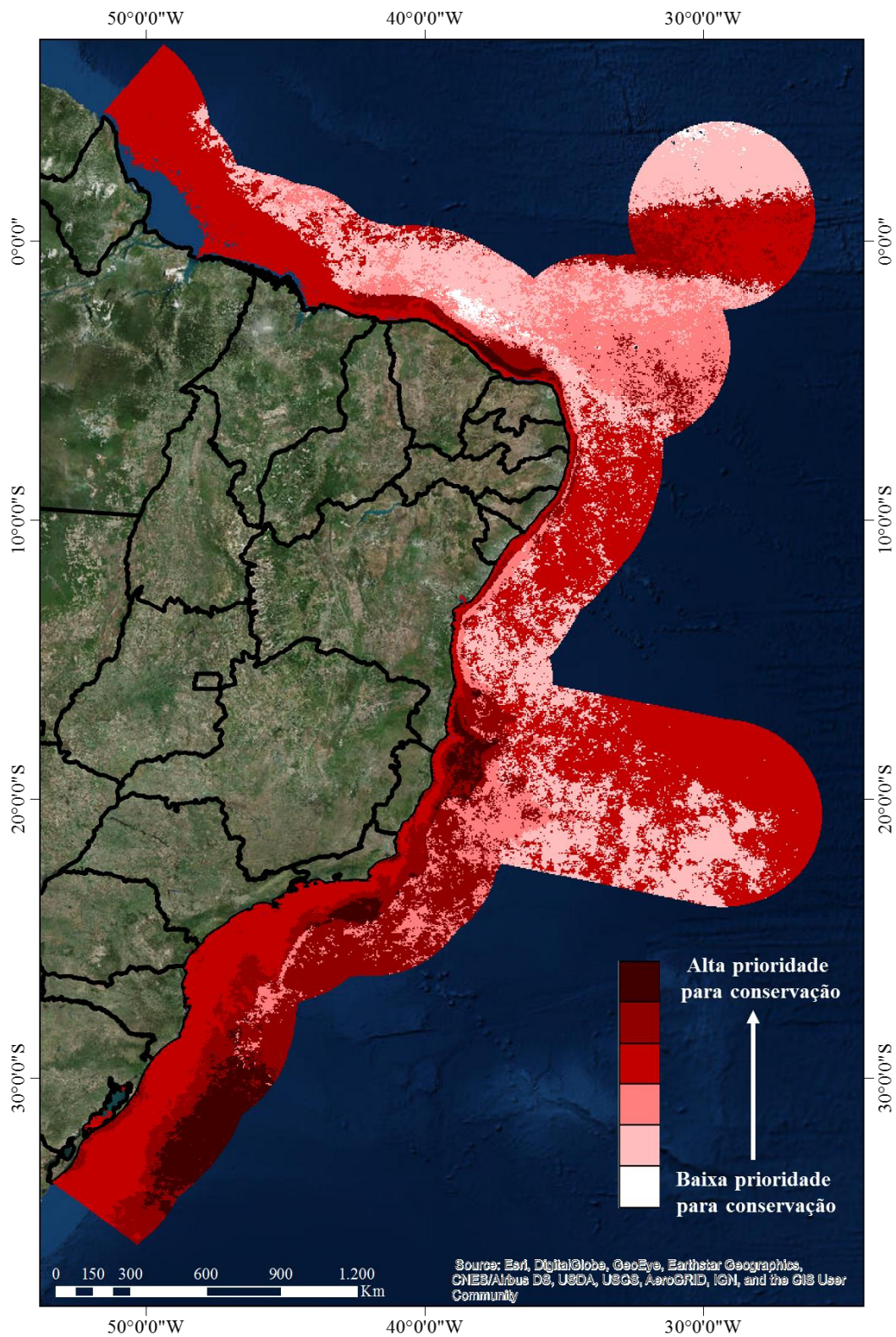


Figura 6. Priorização para conservação utilizando dados dos nove regimes de variabilidade de clorofila-a. O gradiente vindo de vermelho escuro até o branco mostra os regimes de maior e menor prioridade de conservação, respectivamente. Os nove regimes foram convertidos em seis níveis de prioridade conforme Figura 2.

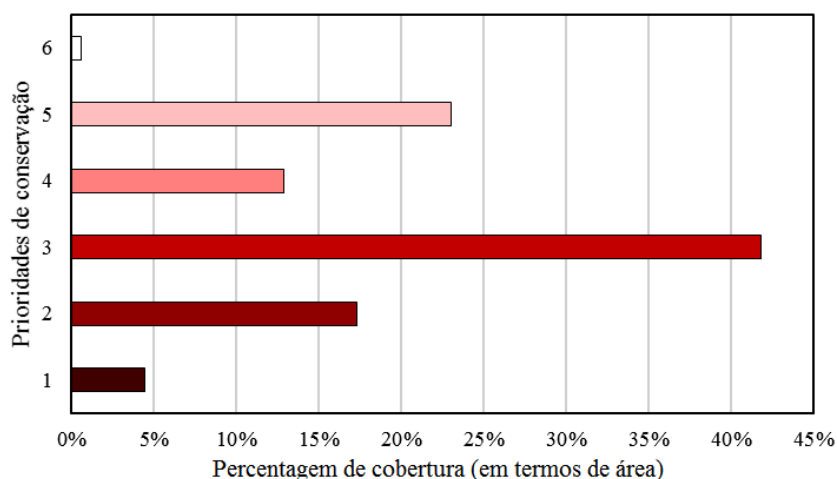


Figura 7. Representação da porcentagem de cobertura (em termos de área) de cada nível de prioridade para conservação em termos de área. O primeiro nível de prioridade representa o regime 1; o segundo, os regimes 2 e 4; o terceiro, os regimes 3 e 7; o quarto, o regime 5; o quinto, os regimes 6 e 8; e o último nível de prioridade, o regime 9.

Ao observar a ocorrência dos regimes nas diferentes categorias de UC, pode-se observar que uma porção significativa da área das UCs de proteção integral estão sob o regime 3 (i.e. 52%), enquanto uma pequena porção encontra-se sob o regime 1 (13,6%) (Figura 8A). Essa diferença foi destacada por mostrar um padrão recorrente no estudo: o regime com maior extensão espacial no estudo (regime 3) apresentou maior percentual de proteção, embora não seja a maior prioridade para conservação (regime 1). Assim como as UCs de proteção integral, as de uso sustentável possuem uma porção significativa sob o regime 3 (61,73%), enquanto o regime 1 ocupa apenas 1,99% (Figura 8B).

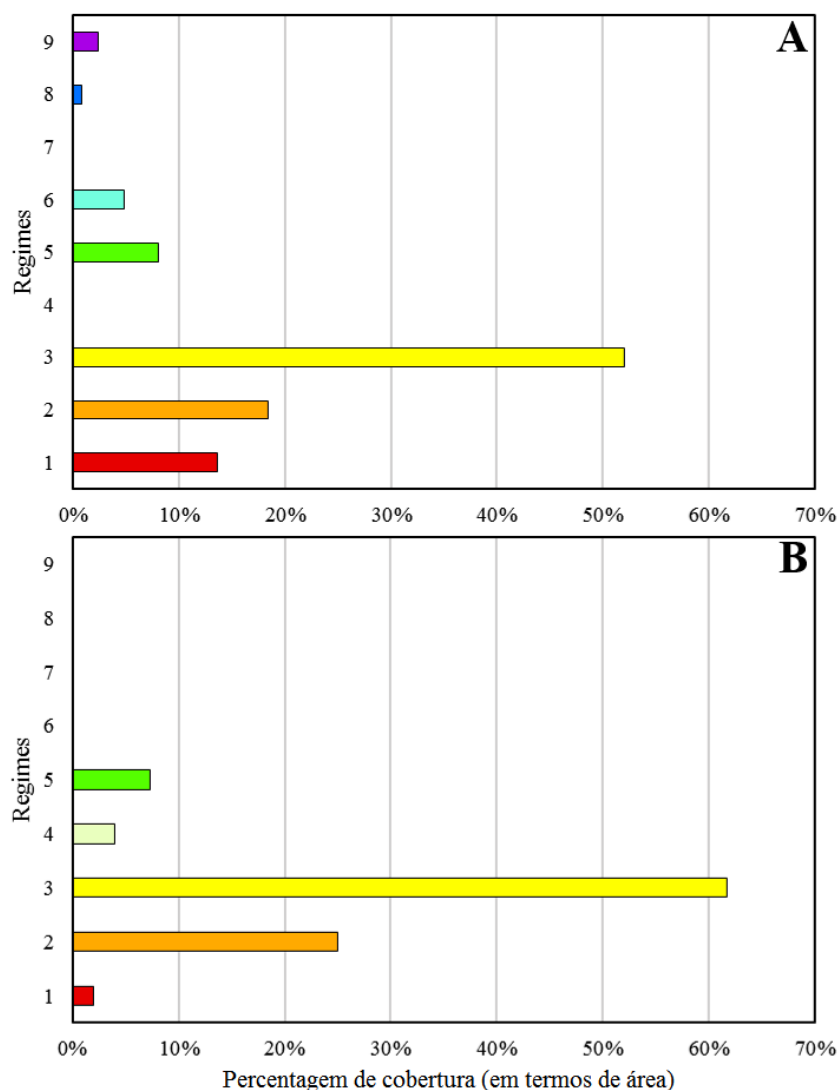


Figura 8. Representação das percentagens de cobertura dos regimes (em termos de área) pelas Unidades de Conservação (UCs). (A) UCs de proteção integral. (B) UCs de uso sustentável.

Discussão e conclusão

Áreas com maior biomassa fitoplanctônica que apresente valores mais constantes de clorofila-a podem trazer inúmeros benefícios para conservação. Isto porque organismos fitoplanctônicos estão intimamente ligados à abundância de níveis tróficos superiores da teia alimentar (Watters et al., 2003). Além disso, existe uma forte associação entre áreas de maior biomassa fitoplanctônica e a presença de recursos pesqueiros de alta importância comercial (Brown et al., 2010). Tais regiões também podem desempenhar um papel importante nas mudanças do clima ao realizar a fixação do carbono excedente na atmosfera no oceano (Gao et al., 2017). O estudo foi capaz de mostrar a baixa representatividade na proteção dos diferentes regimes de clorofila-a pelas UCs marinhas no Brasil. Por exemplo, foi observado que as UCs

estão protegendo em maior extensão apenas um dos regimes de clorofila-a (regime 3 ocupa mais de 50% da extensão espacial das UCs), mas deixa desprotegido em grande extensão outros regimes de proteção como os regimes 1, 2 e 4 (que ocupam o primeiro e segundo nível de prioridade, de acordo com a Tabela 1 e Figura 2). Este trabalho foi o primeiro a quantificar a dinâmica de clorofila-a ao longo de toda ZEE do Brasil bem como aplicar os dados para orientar o planejamento de ações de conservação. Por fim, o estudo ressalta a necessidade de se ter uma visão mais holística ao incorporar características dos ecossistemas pelágicos no planejamento de ações de conservação.

Os regimes de clorofila-a foram definidos neste estudo utilizando a combinação de dois índices (valores somados de média e predictabilidade), e classificando os mesmos quanto à posição dos valores de cada pixel em relação aos tercis. Outra forma de distinguir tais regimes, proposta por Welch *et al.* (2015), foi a classificação dos regimes em *clusters*, mas que também foram baseados nos valores de médias e predictabilidades mensais. Embora os métodos sejam um pouco diferentes, seria importante avaliar as diferenças possivelmente encontradas na distribuição espacial dos regimes quando utilizando diferentes métodos. Também seria importante correlacionar a ocorrência dos regimes com a distribuição de outras variáveis tais como temperatura da água, batimetria do fundo, altimetria dos oceanos, entre outros.

Na área de estudo, puderam ser observados padrões de distribuição espacial e variação sazonal das médias de clorofila-a ao longo da costa. Assim como foi notado por Ciotti *et al.* (2010), as concentrações de clorofila-a aumentam bastante em direção ao norte durante o outono, enquanto esse aumento de clorofila-a se direciona para o sul no inverno. Áreas com valores baixos de clorofila-a tenderam a variar meridionalmente e puderam ser observadas mais facilmente durante a primavera e o verão. Essas variações temporais também foram observadas neste estudo, bem como a mudança no padrão de acordo com a batimetria. Foi possível observar um efeito da topografia do assoalho oceânico (e.g. montes submarinos) na distribuição dos regimes. A Figura 4 ilustra, por exemplo, a ocorrência de regimes com valores intermediários para o índice de média e superiores para o índice de predictabilidade acompanhando os montes submarinos próximos ao arquipélago de São Pedro e São Paulo, no entanto este padrão para estar mais associado ao deslocamento de correntes marinhas.

Os dados finais do estudo, por serem a soma das médias mensais normalizadas, são capazes de mostrar os níveis de flutuação dos valores de clorofila-a. As Figuras 3 e 4 mostram que a escolha por definição de regimes (Figura 4), ao invés de simplesmente analisar

superficialmente a distribuição da média e predictabilidade (Figura 3), se mostrou mais adequada por delimitar melhor as áreas, enquanto que a análise de imagens separadas de médias e predictabilidades mostrariam apenas uma diferença não muito evidente no gradiente de coloração. O resultado deste estudo mostrou a importância de se trabalhar com dados temporalmente explícitos, ao invés de agregar dados de uma longa série temporal através de parâmetros estatísticos incapazes de capturar a variabilidade (e.g. um único valor de média temporal de toda a série).

Os regimes encontrados precisam ser futuramente validados e isso pode ser feito através da compilação de dados de distribuição de outros organismos de interesse para conservação. Informações sobre a distribuição de elasmobrânquios e outros representantes da megafauna, além da comunidade zooplânctônica, poderiam ser úteis para avaliar melhor a influência dos padrões de biomassa do fitoplâncton nos padrões de diversidade marinha (Verity et al., 2002).

Planejamento das ações de conservação no Brasil são ainda incipientes. Embora alguns estudos já tenham avaliado a distribuição de clorofila-a na costa brasileira (e.g. Ciotti et al., 2010), este estudo se destaca por ter sido o primeiro a avaliar a efetividade das UCs em representar os diferentes regimes de variabilidade de clorofila-a. Embora outros estudos de planejamento da conservação já tenham usado informações de biodiversidade no Brasil, tais como peixes (Vilar et al., 2016), recifes de coral (Magris et al., 2017), e representantes da megafauna (Martins et al., 2013), nenhum estudo ainda tenha utilizado informações sobre ecossistemas pelágicos e mais, especificamente, fitoplâncton.

Recomendações para o manejo

Recomenda-se a ampliação do sistema de UCs existentes para ampliar a abrangência espacial das mesmas, guiadas por critérios com embasamento científico, e contemplando informações sobre o ambiente pelágico em respeito às áreas com altos níveis de clorofila-a. Algumas áreas identificadas como prioridade de conservação com base nos valores de clorofila-a destacam-se como candidatas à serem melhor avaliadas em relação a outros fatores de interesse para a conservação. São elas: trechos da plataforma continental da costa nordeste; a região próxima a ressurgência de Cabo Frio; a plataforma continental média e externa da região dos Abrolhos; além de trechos oceânicos adjacentes à região sudeste-sul, que sofre influência direta da ACAS (Águas Centrais do Atlântico Sul). Novas áreas protegidas que contemplem regiões associadas aos valores mais altos de médias e predictabilidades podem trazer diversos benefícios de conservação. Também espera-se que informações sobre ecossistemas pelágicos

sejam incorporados a esforços futuros de delineamento de áreas protegidas, até então limitados à informações sobre os ambientes bentônicos. A inclusão desse tipo de informação pode também contribuir em esforços para o alcance das metas de Aichi (10% de proteção dos oceanos até 2020).

Agradecimentos

Agradeço ao ICMBio, ao CIEE e ao CNPq pela oportunidade de realizar essa pesquisa, que foi concluída apesar do descaso do atual governo com o progresso da ciência. Agradeço ao meu orientador, Rafael, por todo o aprendizado e pela paciência ao longo deste ano. Agradeço, finalmente, à UnB por ter me dado toda a bagagem necessária para este momento.

Referências bibliográficas

- 1) BEGER, M. et al. Conservation planning for connectivity across marine, freshwater, and terrestrial realms. *Biological Conservation*, v. 143, p. 565-575, 2009.
- 2) BEHRENFELD, M. J. et al. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, v. 444, 2006.
- 3) BERNARDELLO, R. et al. A comparison of remote-sensing SST and in situ seawater temperature in near-shore habitats in the western Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, v. 559, p. 21-34, 2016.
- 4) BLONDEAU-PATISSIER, D. et al. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in Oceanography*, v. 123, p. 123-144, 2014.
- 5) BOPP, L. et al. Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochemicals Cycles*, v. 15, n. 1, p. 81-99, 2001.
- 6) BROWN, C. J. et al. Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: implications for fisheries and conservation. *Global Change Biology*, v. 16, p. 1194-1212, 2010.
- 7) CHATUVERDI, N.; NARAIN, A. Chlorophyll distribution pattern in the Arabian Sea: Seasonal and regional variability, as observed from SeaWiFS data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 3, p. 511-518, 2003.
- 8) CIOTTI, A. M.; GARCIA, C. A. E.; JORGE, D. S. F. Temporal and meridional variability of Satellite-estimates of surface chlorophyll concentration over the Brazilian continental shelf. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, n. 2, p. 64-81, 2010.

- 9) CURY, P. M. et al. Ecosystem Oceanography for global change in fisheries. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 23, n. 6, p. 338-346, 2008.
- 10) FIELD, C. B. et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, v. 281, 1998.
- 11) GAME, E. T. et al. Pelagic protected areas: the missing dimension in ocean conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 24, n. 7, 2009.
- 12) GAO, G. et al. The acclimation process of phytoplankton biomass, carbon fixation and respiration to the combined effects of elevated temperature and pCO₂ in the northern South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 118, p. 213-220, 2017.
- 13) GRANTHAM, H. S. et al. Accommodating Dynamic Oceanographic Processes and Pelagic Biodiversity in Marine Conservation Planning. *PLoS ONE*, v. 6, n. 2, 2011.
- 14) GRÉMILLET, D. et al. Spatial match–mismatch in the Benguela upwelling zone: should we expect chlorophyll and sea-surface temperature to predict marine predator distributions? *Journal of Applied Ecology*, v. 45, p. 610-621, 2008.
- 15) HALPERN, B. S. et al. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6:7615, 2015.
- 16) HATJE, V.; COSTA, M. F.; CUNHA, L. C. Ocenografia e química: unindo conhecimentos em prol dos oceanos e da sociedade. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1497-1508, 2013.
- 17) HATTAM, C. et al. Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification. *Ecological Indicators*, v. 49, p. 61-75, 2014.
- 18) INGRID, G.; ANDERSEN, T.; VADSTEIN, O. Pelagic food webs and eutrophication of coastal waters: impact of grazers on algal communities. *Marine Pollution Bulletin*, v. 33, n. 1-6, p. 22-35, 1996.
- 19) LUSHER, A. L.; MCHUGH, M; THOMPSON, R.C. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, v. 67, n. 1-2, 2012.
- 20) MAGRIS, R. A. et al. Integrated conservation planning for coral reefs: Designing conservation zones for multiple conservation objectives in spatial prioritisation. *Global Ecology and Conservation*, v. 11, p. 53-58, 2017.
- 21) MAGRIS, R. A. et al. Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning. *Biological Conservation*, v. 170, p. 207-221, 2013.
- 22) MAGRIS, R. A.; BARRETO, R. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, n. 4, p. 545-556, 2010.

- 23) MAGRIS, R. A.; HERON, S. F.; PRESSEY, R. L. Conservation Planning for Coral Reefs Accounting for Climate Warming Disturbances. *PLoS ONE*, v. 10, n. 11, 2015.
- 24) MARTINS, C. C. A. et al. Identifying priority areas for humpback whale conservation at Eastern Brazilian Coast. *Ocean & Coastal Management*, v. 75, p. 63-71, 2013.
- 25) MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press*, Washington, 2005.
- 26) ÖSTERBLOM, H. et al. Human-induced trophic cascades and ecological regime shifts in the Baltic Sea. *Ecosystems*, New York, v. 10, n. 6, p. 877-889, 2007.
- 27) SALA, E. et al. Expansion of the U.S. Pacific Remote Islands Marine National Monument: The largest ocean legacy on Earth. Report to the United States government, 2014.
- 28) STEINACHER, M. et al. Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis. *Biogeosciences*, v. 7, p. 979-1005, 2010.
- 29) STRAMMA, L. et al. Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, v. 2, p. 33-37, 2012.
- 30) U.S. COMMISSION ON OCEAN POLICY. An Ocean Blueprint for the 21st Century. Final Report. Washington, 2004.
- 31) VERITY, P. G.; SMETACEK, V.; SMAYDA, T. J. Status, trends and the future of the marine pelagic ecosystem. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 2, p. 207-237, 2002.
- 32) VILAR, C. C.; JOYEUX, J. C.; SPACH, H. L. Geographic variation in species richness, rarity, and the selection of areas for conservation: An integrative approach with Brazilian estuarine fishes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 196, p. 134-140, 2017.
- 33) WATTERS, G. M. et al. Physical forcing and the dynamics of the pelagic ecosystem in the eastern tropical Pacific: simulations with ENSO-scale and global-warming climate drivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 60, p. 1161-1175, 2003.
- 34) WELCH, H. et al. Regimes of chlorophyll-a in the Coral Sea: implications for evaluating adequacy of marine protected areas. *Ecography*, v. 38, p. 1-16, 2015.
- 35) WORM, B. et al. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science*, v. 314, 2006.